

# Über die Gestaltung von Eisenbahninfrastrukturen

Der Prozess der Gestaltung von Eisenbahninfrastruktur kann in einem Zyklus dargestellt werden. In diesem Zyklus stehen die Teilprozesse in bestimmten Beziehungen zueinander und haben verschiedene Aufgaben. Um die Aufgaben zu erfüllen gibt es unterschiedliche Werkzeuge und Methoden. Nicht alle Werkzeuge sind uneingeschränkt geeignet und nicht jeder Teilprozess wird bei der Gestaltung ausreichend berücksichtigt.

## 1. EINLEITUNG

Die Gestaltung der Eisenbahninfrastruktur muss unterschiedlichste Anforderungen technischer, wirtschaftlicher oder umweltrelevanter Art berücksichtigen. Um ein verkehrliches Angebot auf einer Eisenbahninfrastruktur anbieten zu können, steht heute vielfach die Gestaltung des Spurplans im Vordergrund. Aus dem Spurplan lässt sich anschließend die sonstige Infrastruktur ableiten. Der Spurplan bietet sich daher bei der Gestaltung von der Eisenbahninfrastruktur als Bezugsgröße an.

Bisher wurde der Prozess zur Entwicklung von Spurplänen sequentiell dargestellt und entsprechend abgearbeitet (siehe Bild 1, vgl. [1, S. 4]). Bei genauerer Betrachtung zeigt sich aber, dass alle Teilprozesse (auch Beginn und Ende) miteinander im Zusammenhang stehen und nicht losgelöst voneinander betrachtet werden sollten. Es bietet sich daher an, die Gestaltung von Gleisinfrastruktur und somit eines Spurplans als einen kontinuierlichen zyklischen Prozess zu betrachten. Der Zyklus kann sich über mehrere Jahrzehnte erstrecken.

## 2. ZYKLUS DER SPURPLANGESTALTUNG

Die einzelnen Teilprozesse des Zyklus können parallel ablaufen. Bild 2 zeigt eine Sichtweise auf diesen Zyklus. Nachfolgend soll auf die einzelnen Bereiche (gekennzeichnet mit einem Kreis, z. B. ①) und deren Übergänge (gekennzeichnet mit einer Raute, z. B. ◇) im Zyklus eingegangen werden.

① Verkehrsmittel werden für Menschen errichtet. Menschen verwenden Verkehrsmittel, um damit Waren zu versenden oder als Fahrgast selber den Ortsveränderungsprozess durchzuführen. Ausgelöst wird die Nutzung des Verkehrsmittels durch Bedürfnisse der Nutzer.

Die Bedürfnisse kommen aus den raumrelevanten Daseinsgrundfunktionen: Wohnung, Arbeit, Versorgung, Bildung und Erholung (vgl. [2]). Um die Bedürfnisse zu befriedigen entsteht Personenverkehr als Mittler zwischen den Standorten der einzelnen Daseinsgrundfunktionen. Güterverkehr entsteht aus der räumlichen Struktur der



**Martin Scheidt**

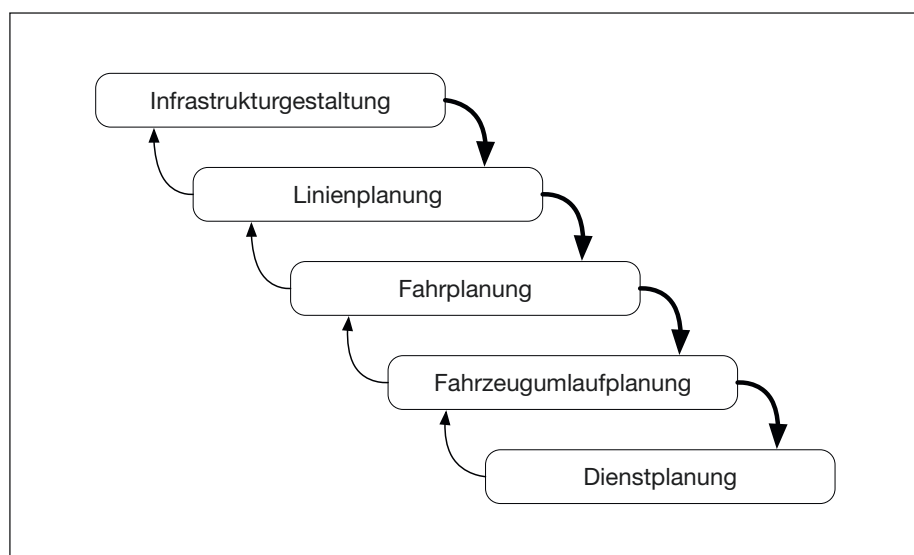
Wissenschaftlicher Mitarbeiter,  
Institut für Verkehrswissenschaften,  
Forschungsbereich für Eisenbahn-  
wesen, Verkehrswirtschaft und  
Seilbahnen  
Technische Universität Wien  
martin.scheidt@tuwien.ac.at

wirtschaftlichen Gefüge, welche Waren oder Dienstleistungen für den Konsumenten bereit stellen. Bedürfnisse können nicht beliebig befriedigt werden und stehen in Rückkopplung mit dem Angebot. Daher wird i. A. das Verkehrsbedürfnis der Nutzer in Verkehrsachsen gebündelt und die Auswirkung des Verkehrs mit dem öffentlichen Interesse abgewogen. Durch diese Abwägung kann das *Verkehrsbedürfnis* räumlich und zeitlich eingeschränkt werden, räumlich durch die Erschließung, zeitlich durch Hauptverkehrs-/ Schwachverkehrszeiten und Nachtruhe.



Aus dem Verkehrsbedürfnis wird eine Verkehrsnachfrage abgeleitet. Durch Modellierung der Verkehrsbedürfnisse nach Aufteilung der Daseinsgrundfunktionen in Bereiche innerhalb eines Verkehrsmodells wird die Ableitung gebildet. Es gibt verschiedene Modelle mit unterschiedlichen Abstufungen zu Detailgrad und Eingangsgrößen. Ein Verkehrsmodell ist z. B. Model EVA, beschrieben in [3, S. 250 ff.]. Die Eingangsgrößen und das Ergebnis eines Modells benötigen Interpretation und Schulung im Umgang. Da die Interpretation nicht vollkommen objektiv erfolgen kann, braucht es wissenschaftliche und politische Arbeit, um daraus Handlungsanweisungen abzuleiten. Die Handlungsanweisungen aus Wissenschaft und Politik müssen zueinander nicht widerspruchsfrei sein.

Häufig sind die Handlungsanweisungen geprägt von der historisch gewachsenen Problemlösungsstrategie in der jeweiligen geographischen Region. Die Handlungsanweisungen richten sich nach den externen Zwängen.



**BILD 1:** Sequentieller Ablauf bei der Planung [1, S. 4]

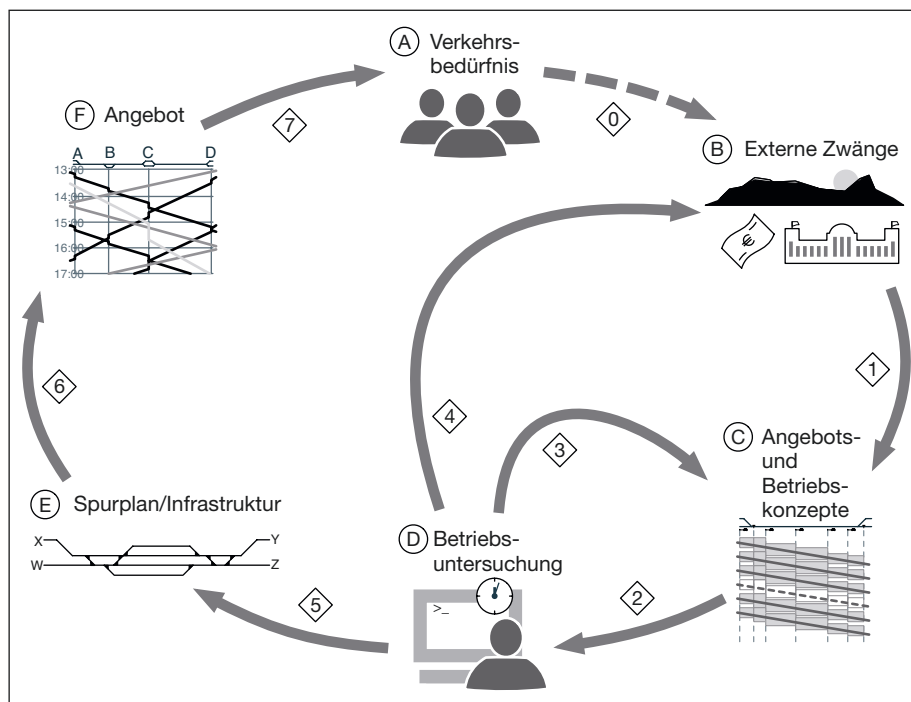


BILD 2: Zyklischer Ablauf der Gestaltung von Eisenbahninfrastruktur

Aspekte von nutzerorientierten Angeboten vernachlässigt, werden die Vorgaben mit *Angebots- und Betriebskonzepten* kombiniert.

Betriebskonzepte können sich nach Geschwindigkeitsklassen, Haltemuster, Zugattung sowie nach Primär- und Sekundärnetzen unterscheiden (vgl. [9, S. 444 ff.]). So ist z.B. ein überlagerter Taktverkehr mit unterschiedlichem Haltemuster im Personenverkehr und zusätzlichen Güterzügen ein mögliches Betriebskonzept für eine Strecke. Je größer der betrachtete Raum ist, desto komplexer werden die Betriebskonzepte. So wird sich ein Betriebskonzept für ein einzelnes Bundesland in der Komplexität von einem Betriebskonzept für den gesamten Staat unterscheiden. Um die Datenmengen auf das nötige Maß zu reduzieren, wird die Detailtiefe angepasst. In [10] wird dabei in drei Detailtiefen unterschieden:

- Makroskopisch,
- mesoskopisch und
- mikroskopisch.

② Unter *Externe Zwänge* sind Geographie (Topologie, Demographie, Wirtschaftsstruktur, etc.), Finanzierung sowie juristische und politische Vorgaben zusammengefasst. Alle externen Zwänge sind beeinflussbar.

Die geographischen Zwänge lassen sich z.B. durch Ingenieurbauten wie Tunnel oder Brücken formen, was jedoch nur möglich ist, wenn diese finanziert werden. Politik ist beeinflussbar im Rahmen der politischen Willensbildung der jeweiligen geographischen Region, was wiederum die juristischen und finanziellen Zwänge beeinflusst. Hauptsächlich wird die politische Willensbildung über die Finanzierung beeinflusst.

Finanzierung findet i.d.R. durch die öffentliche Hand in Form von Transferzahlungen statt. In [4] wird beschrieben, wie die Finanzierung von Infrastruktur über mehrere Ebenen mit einer Rahmenfinanzierungsvereinbarung organisiert ist. Angebote auf der Infrastruktur werden z.B. von den Landesregierungen in Deutschland durch eingesetzte Nahverkehrsservice-Gesellschaften oder Verkehrsverbünde durch Ausschreibung und Vergabe von Verkehrsleistung gestaltet.

Nichtfinanzielle politische Vorgaben werden durch Regulierung, Gesetze und die damit verbundenen Institutionen umgesetzt. [5] beschreibt, wie weit und wie erfolgreich Regulierung durchgeführt wurde, um soziale und ökonomische Ziele der Politik umzusetzen. [6] zeigt wie umfangreich juristische Regelungen sein können. Alle staatlichen Vorgänge sind an Gesetze gebunden, die von der Legislative ausgearbeitet und ge-

formt werden. Institutionen wie z.B. in Deutschland die Bundesnetzagentur setzen anschließend politisch gewollte Regulierung des Verkehrsmarktes im Rahmen ihrer Möglichkeiten durch.

① Aus diesem komplexen politischen Prozess entstehen Vorgaben, die an die Infrastrukturbetreiber herangetragen werden. Allerdings zeigt sich, dass, zumindest in Deutschland, die staatliche Infrastrukturpolitik mit großen Widersprüchen zwischen der Sanierung eines Staatsunternehmens (z.B. DB AG) und mit einem Bund-Länder-Konflikt in der Infrastrukturfinanzierung umgehen muss (vgl. [5, S. 134 ff.]).

Besser ist die Möglichkeit eine *Service Intention* (vgl. [7]) für Strecken und Netze zu definieren. Die Service Intention beschreibt Haltemuster, Bedienintervalle und -zeiten für Netzabschnitte, für die die Infrastruktur dimensioniert werden kann. Ein integraler Taktfahrplan kann so mit Verstärkerzügen an die Verkehrsnachfrage angepasst werden.

Meist sind die Vorgaben aber nicht so spezifisch, wie eine Service Intention, sondern orientieren sich an gewünschten Ausbaustufen, welche als Zielnetz definiert werden.

③ Die Vorgaben können variieren, je nach Achse und Lage im Netz. Häufig sind die Vorgaben zu Leistungsfähigkeit und -verhalten auf Achsen in Übereinstimmung mit dem UIC-Kodex 406 (siehe [8]). Da aber die alleinige Betrachtung von Leistungsfähigkeit und -verhalten

Aus der Kombination von betrachtetem Raum, Betriebskonzept und Detailtiefe entstehen die Eingangsgrößen ②, welche in Form eines Fahrplans und einer Wunsch-/Bestandsinfrastruktur in einer bahnbetriebswissenschaftlichen Untersuchung verwendet werden.

④ Um eine Aussage zur Durchführbarkeit eines konkreten Betriebskonzeptes treffen zu können, werden *Betriebsuntersuchungen* durchgeführt. Dafür stehen verschiedene Werkzeuge zur Verfügung (siehe [9, S. 488]). Um diese Werkzeuge sinnvoll zu verwenden ist der *Educated Guess* notwendig. Der *Educated Guess* ist eine Vermutung basierend auf Wissen und Erfahrung und daher wahrscheinlich korrekt. Aber er führt zu einer geringen Transparenz der Verfahren und Ergebnisse. Die komplexe und umfangreiche Datenhaltung und viele veränderliche Faktoren der einzelnen Werkzeuge machen zwingend erforderlich, dass ein Bearbeiter Erfahrung und Wissen in die Bearbeitung einbringt. Weiterhin haben die Werkzeuge eine wenig intuitive Bedienoberfläche und verwenden UI-Konzepte<sup>1)</sup> aus den späten Neunzigerjahren.

Bei der Durchführung einer Betriebsuntersuchung mit den Werkzeugen steht der kreative Prozess des Planens häufig nicht im Vordergrund, wesentlicher ist meist die Datenverwaltung und -reinheit. Erst eine gute Datenbasis macht die Betriebsuntersuchung durchführbar. Zusätzlich erfordert eine kom-

1) User Interface

plexe Betriebsuntersuchung hohen personellen und zeitlichen Aufwand (vgl. [11]). Um die Betriebsuntersuchung nachvollziehbarer zu gestalten bedarf es einfacher und nachvollziehbarer Möglichkeiten alle Entscheidungen zu begründen und zu dokumentieren. Allein schon aufgrund der Anzahl der Faktoren ist diese Möglichkeit aber stark eingeschränkt. Insgesamt wäre eine bessere Transparenz der Verfahren und Ergebnisse wünschenswert.

Das Ergebnis der Betriebsuntersuchung ist eine Prognose/Abschätzung eines Leistungsverhaltens eines Konzeptes. Wenn die Bewertung den ursprünglichen Vorgaben von ② entspricht, entsteht daraus eine Bemessungsgrundlage für den Spurplan ⑤. Wenn die Bewertung den Vorgaben nicht entspricht, müssen die Vorgaben oder das Konzept angepasst werden.

③ Eine Veränderung der Betriebskonzept-Eingangsgroßen innerhalb der Vorgaben ③ findet häufig statt. Die Ursache der Veränderung liegt in der iterativen Natur der Betriebsuntersuchung (vgl. [9, S. 490]). Um sich in den Iterationen einem Zielwert anzunähern werden die Eingangsgroßen verändert. Dabei orientiert man sich an bereits vorhandenen Größen. Damit es möglichst zielgerichtet stattfindet, wird meist der Educated Guess verwendet.

Die Veränderung ist i.d.R. eine leichte Abwandlung des Fahrplans. Es können aber auch infrastrukturseitige Veränderungen von Signal- oder Weichenstandorten oder Umgestaltung von Gleisverbindungen sowie die Anzahl von Gleisen zur Zielerreichung beitragen.

④ Ist eine Veränderung der Betriebskonzept-Eingangsgroßen innerhalb der Vorgaben nicht möglich, so muss das Vorhaben entweder eingestellt werden oder die Vorgaben so angepasst werden, dass eine Umsetzung möglich wird. Die Veränderung muss dann im Bereich der externen Zwänge ② durchgeführt werden. Eine naheliegende Möglichkeit ist es, die Finanzierungsart zu ändern. Aber es ist auch eine Option, den rechtlichen Rahmen des Betriebes zu untersuchen und dort andere Regelungen geltend zu machen (z.B. BOStrab statt EBO).

Einige Betriebsuntersuchungen dienen zur Beurteilung von Machbarkeit und als Empfehlungen an die öffentliche Hand. Ein Beispiel ist die Machbarkeitsstudie über den Deutschlandtakt (siehe [12]).

⑤ Wenn die Betriebsuntersuchung abgeschlossen ist, entsteht aus der Bemessungsgrundlage ⑤ durch Neubau/Anpassung/

Instandsetzung der Umsetzungsprozess für die Errichtung der *Infrastruktur*. Der Neubau oder die Anpassung/Instandsetzung der Infrastruktur wird durch einen Bauträger und -ausführer vorgenommen. Jedoch ist der Idealzustand nach dem Umsetzungsprozess nur von begrenzter Dauer.

Über die Lebenszeit der Eisenbahninfrastruktur kommt es zur Abnutzung und zu einer möglichen Änderung des Nutzerverhaltens. Daher ist eine kontinuierlichen Anpassung des Angebots ⑥ notwendig.

⑥ Für die Angebotserstellung wird die Fahrplankonstruktion (vgl. [13, S. 183ff.]) verwendet. Die Eingangsgrößen werden aus der Infrastruktur bezogen, mit der eine Institution (z.B. Verkehrsverbund) oder ein Verkehrsunternehmen ein Angebot erstellt. Dabei werden je nach Berücksichtigung des Verkehrsaufkommens im Betriebskonzept ③ unterschiedliche Fahrpläne erzeugt. Fahrpläne, die außerhalb eines Betriebskonzeptes erstellt werden, sind z.B. Saisonfahrplan mit zusätzlichen Angeboten oder Baufahrpläne in Phasen von Erhaltungs- oder Erneuerungsmaßnahmen.

Durch die Fahrpläne entsteht ein Angebot an Verkehrsrelationen. Das Angebot wird von Nutzern zur Befriedigung ihres Verkehrsbedürfnisses genutzt ⑦.

### 3. FAZIT

In dem Zyklus der Spurplangestaltung wird gezeigt, wie die einzelnen Teilprozesse zusammenwirken. Die Betrachtung im Zyklus erleichtert das Strukturieren von Methoden für eine zielgerichtete Gestaltung von Spurplänen. Da ein Verkehrsmittel i.d.R. für Nutzer errichtet wird, stellt sich die Frage, ob der Prozess nicht näher am Verkehrsbedürfnis ① der Nutzer orientiert werden sollte.

Nutzer können i.d.R. nur auf den Fahrplan ⑥ reagieren. Deswegen kann man, ohne die Verkehrsbedürfnisse zu kennen, im Konzept ③ folgenlos beliebige Annahmen für den Fahrplan treffen. Erst nach der Umgestaltung der Infrastruktur ⑤ mit einem Fahrplan kann offensichtlich werden, dass der Nutzer andere Verkehrsbedürfnisse hatte. Hier bedarf es dringend einer stärkeren Orientierung an der Verkehrsnachfrage aus der Modellierung ①.

Gleichzeitig fehlt eine Diskussion darüber, wie weit dem Verkehrsbedürfnis nachgegeben werden kann und wenn ein Limit für die Erfüllung des Verkehrsbedürfnisses existiert, wo dieses Limit liegt. Wie kann man das Gleichgewicht zwischen Ressourceneinsatz und freier Entfaltung von Mobilitätsbedürfnis finden?

Die Diskussion ist vor allem eine gesellschaftliche und somit hauptsächlich durch

die Politik getragen. [5] zeigt hier aber, dass diese Aufgabe nur in geringem Umfang wahrgenommen wird. Auch fehlen verbindliche Zieldefinitionen im Rahmen von Service Intentions ⑧.

Um die Service Intention zielgerichtet umsetzen zu können, muss bei den Werkzeugen der Betriebsuntersuchung ① der Designprozess in den Vordergrund rücken. Derzeit sind diese Werkzeuge ohne Educated Guess nicht nachvollziehbar, somit steht eher die Machbarkeit im Fokus. Wichtig wird dabei, die Erfahrung im größeren Umfang vermittelbar und nachvollziehbar zu machen. ◀

### Literatur

- [1] Christian Liebchen and Rolf H Möhring. The Modeling Power of the Periodic Event Scheduling Problem: Railway Timetables — and Beyond. In *Algorithmic Methods for Railway Optimization*, S. 3–40. Springer Berlin, Heidelberg, 2007.
- [2] D Partzsch. Daseinsgrundfunktionen. In *Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung*, Band A-H, S. 424–430. 1970.
- [3] Dieter Lohse and Werner Schnabel. Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Band 2 - Verkehrsplanung. Verlag für Bauwesen, 2. auflage edition, Februar 1997.
- [4] A Schwarz. Was uns lieb und teuer ist. Finanzierung der Eisenbahn. *INTERNATIONALES VERKEHRSWESEN*, 55(12):633–636, 2003.
- [5] Olivia van Riesen. Zur Leistungsfähigkeit des Regulierungsstaates im Bahnsektor. LIT Verlag, Berlin, Münster, 2007.
- [6] Marianne Motherby. *Kompodium Eisenbahn-Gesetze*. Eurailpress, Hamburg, 2009.
- [7] V Mahadevan. Describing and evaluating train services on the swiss railway network from a new perspective. In *Swiss Transport Research Conference*, Zürich, September 2007.
- [8] UIC. UIC-Kodex 406: Kapazität, 2004.
- [9] W Weigand and A Hepp. *Spurplangestaltung und betriebliche Infrastrukturplanung*. Handbuch Eisenbahninfrastruktur, 2013, S. 441–449, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- [10] Alfons Radtke. EDV-Verfahren zur Modellierung des Eisenbahnbetriebs. Eurailpress Tetzlaff-Hestra, 2006.
- [11] U Martin and C Schmidt. Erhöhung der Effektivität und Transparenz bei Leistungsuntersuchungen mit Simulationsverfahren. *ETR – Eisenbahntechnische Rundschau*, 07+08/2010, S. 463–468.
- [12] BMVI – Bundesrepublik Deutschland. *Machbarkeitsstudie zur Prüfung eines Deutschland-Takts im Schienenverkehr*. Studie, Bonn, März 2015.
- [13] Jörn Pachl. *Systemtechnik des Schienenverkehrs*. Springer-Verlag, 2013.

## ► SUMMARY

### Designing railway infrastructure

The sequential approach to designing railway infrastructure would appear to be obsolete. It must therefore be widened and the dependencies of the part-processes depicted in a cycle. To date, the user's transport needs have only been considered indirectly and are generally not one of the primary concerns. It often happens that the design targets are the outcome of complex political processes, which are translated into concepts for supply and operations. These concepts are then further processed to create the design bases for the infrastructure and, after that, a timetable.